

НОВЫЙ СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ АНТИФРИКЦИОННОГО БАББИТОВОГО СЛОЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

В работе обоснована необходимость создания поверхностных слоев деталей машин с особыми свойствами для узлов трения скольжения. Исследования процессов формирования баббитовых покрытий, направленные на повышение их качества, своевременны и актуальны, а создание поверхностных слоев с особыми свойствами для узлов трения скольжения, в данном случае подшипников скольжения (ПС), является актуальной задачей. Полученное комбинированное электроэрозионное покрытие имеет минимальную толщину 250 мкм, а максимальную толщину 1,0 мм. Дальнейшее увеличение толщины слоя возможно, но не целесообразно вследствие увеличения времени обработки и снижения механической прочности баббита. Вкладыши подшипников скольжения, обработанные предлагаемым способом, имеют высокую надежность и долговечность при работе ПС так как на всех этапах формирования антифрикционного покрытия, обеспечивается прочная металлическая связь, как между подложкой и промежуточным слоем из меди, оловянной бронзы или олова, так и с последующим слоем из оловянного баббита.

Ключевые слова: электроэрозионное легирование, поверхностный слой, структура, баббит, вкладыш подшипника, медь, олово, бронза, микротвердость.

Введение. Одним из путей повышения надежности и долговечности работы машин и механизмов является решение проблемы повышения износостойкости и надежности их узлов трения. Повышение работоспособности поверхностей трения деталей машин, наряду с традиционными методами упрочнения, неразрывно связано с формированием специальных защитных покрытий, обладающих особыми свойствами: низким коэффициентом трения, повышенной износостойкостью и выдерживающих высокие удельные давления. Таким свойствам соответствуют подшипниковые сплавы, созданные на основе свинца, олова, цинка или алюминия, так называемые баббиты, которые наносятся, как правило на стальную подложку различными методами. Таким образом, исследования процессов формирования баббитовых покрытий, направленные на повышение их качества, своевременны и актуальны, а создание поверхностных слоев с особыми свойствами для узлов трения скольжения, в данном случае подшипников скольжения (ПС), является актуальной задачей.

Анализ последних исследований и литературы. Традиционно баббитовые сплавы наносятся на основу вкладышей ПС различными способами, это: ручная заливка, центробежная заливка, под давлением, газотермическое напыление [1]. Как правило, во всех случаях основой для напыления является Ст.20 (ГОСТ 1050-88). Хотя могут использоваться и другие материалы, имеющие хорошую адгезию с оловом, такие, как Ст.10, Ст.15, бронза, латунь.

Наряду с традиционными способами изготовления и ремонта ПС появляются и новые, такие как гальваническое наращивание и штамповка в температурном интервале [2, 3].

В последние годы для нанесения антифрикционных покрытий все шире используется метод электроэрозионного легирования (ЭЭЛ), который представляет собой перенесение материала на обрабатываемую поверхность искровым электрическим разрядом [4].

Способ имеет следующие специфические особенности: материал анода (легирующий материал) может образовывать на поверхности катода (легируемой поверхности) слой покрытия, чрезмерно крепко сцепленный с поверхностью, в этом случае не только отсутствует граница раздела между нанесенным материалом и металлом основы, но происходит даже диффузия элементов анода в катод; легирование можно осуществлять лишь в указанных местах, не защищая при этом остальную поверхность детали.

Наиболее близким к предлагаемому в настоящей работе является способ обработки вкладышей подшипников скольжения, заключающийся в лужении вкладышей и заливке в кокиль на подогретые до 250°C вкладыши под давлением и при температуре 450-480°C антифрикционного сплава из мягких металлов. Перед заливкой антифрикционного сплава на подлежащие заливке поверхности методом электроэрозионного легирования наносят промежуточный слой посредством электрода-инструмента из меди или оловянной бронзы при энергиях импульса 0,01-0,5 Дж с последующим образованием крепкого диффузионного слоя из меди или оловянной бронзы, при этом при лужении медь образует с оловом твердый раствор замещения, обеспечивая гарантированную металлическую связь [5].

Следует отметить, что все методы контроля заливки баббита не могут дать полной гарантии ее качества. Вкладыши подшипников скольжения, обрабо-

танные указанным способом, имеют недостаточную надежность и долговечность при их работе вследствие того, что при некачественной заливке может произойти разрушение баббита и как следствие отказ подшипника.

Кроме того, указанный способ является довольно трудоемким из-за процессов лужения и заливки.

Таким образом, **целью** работы является повышение качества вкладышей ПС, их несущей и нагрузочной способности, надежности и долговечности работы, а также снижение трудоемкости изготовления за счет того, что антифрикционный баббитовый слой формируют методом ЭЭЛ.

Для достижения поставленной цели в способе обработки вкладышей подшипников скольжения, включающем нанесение на вкладыши электроэрозионного покрытия из меди или оловянной бронзы методом электроэрозионного легирования с помощью электрода-инструмента при энергиях импульса 0,01-0,5 Дж, согласно предлагаемому способу вместо меди или оловянной бронзы с помощью электрода-инструмента на этих же режимах наносят покрытие из олова, причем медь, оловянную бронзу или олово наносят поэтапно, сначала на больших режимах при энергиях импульса 0,1-0,5 Дж затем на меньших - при энергиях импульса 0,01-0,05 Дж, после этого на сформированное покрытие наносят с помощью электрода-инструмента электроэрозионное покрытие из баббита для меди и оловянной бронзы поэтапно, сначала при энергиях импульса 0,01-0,05 Дж, затем при энергиях импульса 0,1-0,4 Дж, а на покрытие из олова баббит наносят за один этап - сразу при энергиях импульса 0,1-0,4 Дж после чего, для повышения качества поверхностного слоя, проводят поэтапное электроэрозионное легирование с помощью электрода-инструмента графитовым электродом, причем сначала на больших режимах при энергиях импульса 0,2-0,4 Дж, затем на меньших - при энергиях импульса 0,05-0,15 Дж.

Методика исследований. Для проведения исследований использовались образцы из стали 20. Причем размером 15 x 15 x 6 мм (рис. 1, а) для металлографических и дюрOMETрических исследований, а 50 x 20 x 5 мм (рис. 1, б) для определения наиболее рациональной производительности процесса ЭЭЛ при использовании различных материалов электродов.



а



б

Рис. 1 – Плоские образцы из стали 20: а – образец для металлографических и дюрOMETрических исследований; б – образец для определения наиболее рациональной производительности процесса ЭЭЛ при использовании различных материалов электродов.

Поверхности образцов шлифовались до $Ra=0,5$ мкм.

ЭЭЛ образцов производилось на установке с ручным вибратором модели «Элитрон – 22А». Основные режимы ее работы приведены в табл. 1.

В качестве электродов использовались: медь, оловянная бронза марки БрОФ10-1, олово, баббит Б88 и графит марки ЭГ-4 ОСТ 229-83.

Таблица 1 – Режимы работы установки модели «Элитрон 22-А»

No режима	Напряжение холостого хода $U_{х.х.}$, В	Рабочий ток I_p , А	Емкость накопительного конденсатора C , мкФ	Энергия разряда $W_{из}$, Дж
1	15	0,4-0,7	360	0,02
2	22	0,7-0,8		0,05
3	35	0,9-1,3		0,13
4	50	1,4-1,8		0,27
5	60	1,9-2,3		0,39
6	70	2,4-2,8		0,52

После изготовления шлифы исследовали на оптическом микроскопе «Неофот-2», где проводилась оценка качества слоя, его сплошности, толщины и строения зон подслоя – диффузионной зоны и зоны термического влияния. Одновременно проводился дюрOMETрический анализ на распределение микротвердости в поверхностном слое и по глубине шлифа от поверхности. Замер микротвердости проводили на микротвердомере ПМТ-3 вдавливанием алмазной пирамиды под различной нагрузкой.

Толщину слоя покрытия измеряли микрометром, а шероховатость поверхности – на приборе профилографе – профилометре мод. 250 завода «Калибр» путем снятия и обработки профилограмм. Сплошность покрытия оценивали визуально.

Для повышения качества формируемых покрытий после каждого этапа ЭЭЛ производилась обработка поверхности металлической щеткой.

После каждого этапа легирования, сформированное покрытие тщательно осматривалось с помощью лупы 6-ти кратного увеличения. Таким образом проводили оценку сплошности нанесенного слоя. В случае выявления необработанных участков процесс ЭЭЛ повторялся.

Результаты исследований

Формирование покрытия $Ст20+Cu+B88$

Изначально на поверхность образца наносилась медь. С целью формирования покрытия с максимальной сплошностью и минимальной шероховатостью

легирование проводили поэтапно, сначала при энергии импульса $W_p = 0,27$ Дж, затем при $W_p = 0,05$ Дж/ При этом толщина слоя снизилась с 0,08 до 0,05 мм, а шероховатость (Ra) с 10,4 до 6,2 мкм. Сплошность слоя составила 100% (рис. 2).



Рис. 2 – Образец стали 20 после ЭЭЛ медью

Следует отметить, что при нанесении меди на 2-м этапе с использованием более низкого режима легирования электрические разряды происходят по выступам шероховатости, нанесенного ранее слоя, в результате чего они частично разрушаются и деформируются, что приводит к снижению шероховатости поверхности и увеличению ее сплошности.

Электроды из меди периодически окисляются, что значительно сказывается на качестве формируемых покрытий. При длительном легировании появляются прижоги, электроды механически разрушаются и отдельные частички, размером до 0,2 мм привариваются к легируемой поверхности. Последующая обработка металлической щеткой устраняет возможные недостатки и таким образом значительно повышает качество сформированной поверхности.

Далее, на медное покрытие наносился баббит Б88.

Учитывая специфические особенности легирования баббитом и с целью формирования слоев с максимальной сплошностью, процесс формирования баббитового слоя протекал поэтапно.

Сначала, для получения 100% сплошности покрытия и последующего нанесения баббита с меньшей шероховатостью поверхности использовали режим с энергией импульса $W_p = 0,05$ Дж, а затем с $W_p = 0,27$ Дж.

Следует отметить, что при нанесении оловянно-го баббита на медную подложку с энергией импульса больше 0,05 Дж резко снижается качество покрытия (снижается сплошность и увеличивается шероховатость). Баббит переносится в виде отдельных капель, и чем больше энергия импульса, тем больше размеры капель и меньше сплошность покрытия.

Первоначально нанесенный слой баббита при энергии импульса $W_p = 0,05$ Дж аккумулирует тепло и увеличивает время растекания капли при нанесении последующего слоя баббита на больших режимах легирования.

На рис. 3 показана поверхность образца после ЭЭЛ баббитом при энергии импульса $W_p = 0,05$ Дж, а затем с $W_p = 0,27$ Дж.

Шероховатость поверхности при увеличении энергии импульса с 0,05 на 0,27 Дж возросла с 6,5 до 23 мкм, а толщина нанесенного слоя 0,08 до 0,42 мм.

Далее, с целью снижения шероховатости поверхности производилось ЭЭЛ покрытия графитовым электродом при $W_p = 0,39$ Дж, а затем при $W_p = 0,13$ Дж. Перед каждой обработкой графитом поверхность покрытия зачищалась щеткой.



Рис. 3 – Плоский образец стали 20 после ЭЭЛ медью и баббитом

При ЭЭЛ графитовым электродом электрические разряды протекают по выступам микронеровностей поверхности нанесенного ранее покрытия. При этом происходит их расплавление, снижение высоты микронеровностей и растекание материала покрытия на большую площадь, увеличивая тем самым сплошность баббитового покрытия. Общая толщина покрытия после легирования баббитом и последующей обработки графитовым электродом составила 0,35 мм, а шероховатость (Ra) 8,6 мкм.

Для получения более толстого слоя, электроэрозсионное легирование с помощью электрода-инструмента из оловянного баббита, с последующей обработкой графитовым электродом можно неоднократно повторять, начиная с обработки при энергиях импульса 0,27 Дж. После трёх таких процедур можно получить суммарную толщину покрытия до 1 мм.

На рис. 4 показана структура антифрикционного баббитового покрытия с подслоем из меди, а на рис. 5 распределение микротвердости по глубине сформированного слоя.

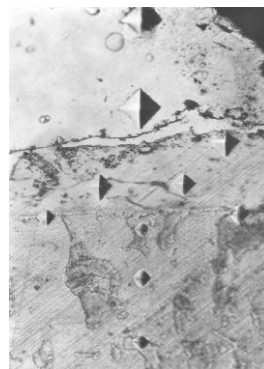


Рисунок 4 – Структура баббитового покрытия с медным подслоем на образце из стали 20, X 400.

Анализ структуры баббитового покрытия с медным подслоем показал, что сформированный слой состоит из 4-х зон. Самый верхний слой толщиной до 300 мкм и микротвердостью $H_u = 24-36$ кгс/мм² из баббита, ниже расположен слой из меди, глубина которого находится в пределах 50 мкм, а микротвердость $H_u = 75-85$ кгс/мм². Еще ниже, между медью и

сталью 20, располагается переходная зона глубиной 10 - 20 мкм и $H_{\mu} = 95 - 120$ кгс/мм². Далее, по мере углубления микротвердость плавно увеличивается до микротвердости зоны термического влияния (220-240 кгс/мм²) и затем переходит в микротвердость основного металла $H_{\mu} = 175-180$ кгс/мм².

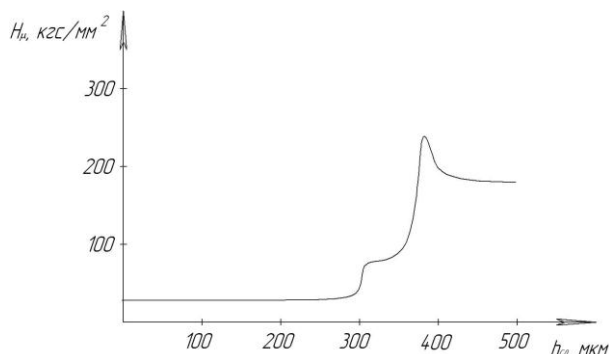


Рис. 5 – Распределение микротвердости по глубине сформированного антифрикционного слоя на подложке из стали 20

Формирование покрытия *Ст20+ БрОФ10-1+Б88*

Изначально на поверхность образца наносилась оловянная бронза. С целью формирования покрытия с максимальной сплошностью и минимальной шероховатостью легирование проводили поэтапно, сначала при энергии разряда $W_p = 0,13$ Дж, затем при $W_p = 0,05$ Дж. При этом толщина слоя снизилась с 0,10 до 0,05 мм, а шероховатость (R_a) с 30,2 до 7,3 мкм. Сплошность слоя составила 100% (рис. 6).



Рис. 6 – Образец стали 20 после ЭЭЛ оловянной бронзой

Далее, на бронзовое покрытие поэтапно наносился баббит Б88 с последующей обработкой графитом, причем и баббит и обработка графитом производились на тех же режимах и в той же последовательности, что и на образце с подслоем из меди.

Общая толщина покрытия после легирования баббитом и последующей обработки графитовым электродом составила 0,40 мм, а шероховатость (R_a) 8,6 мкм.

Для получения более толстого слоя, электроэрозионное легирование с помощью электрода-инструмента из оловянного баббита, с последующей обработкой графитовым электродом можно неоднократно повторять, начиная с обработки при энергиях импульса 0,27 Дж. После трёх таких процедур можно получить суммарную толщину покрытия до 1 мм.

Анализ структуры баббитового покрытия с подслоем из оловянной бронзы показал, что сформированный слой состоит из 4-х зон. Самый верхний слой толщиной до 350 мкм и микротвердостью $H_{\mu} = 24-36$ кгс/мм² из баббита, ниже расположен слой из оловянной бронзы, глубина которого находится в пределах 50-80 мкм, а микротвердость $H_{\mu} = 75-90$ кгс/мм². Еще ниже, между оловянной бронзой и сталью 20, располагается переходная зона глубиной до 10 мкм в которой, по мере углубления, микротвердость плавно увеличивается до микротвердости зоны термического влияния (250-300 кгс/мм²) и затем снижаясь переходит в микротвердость основного металла $H_{\mu} = 175-180$ кгс/мм².

Формирование покрытия *Ст20+ Sn+Б88*

Изначально на поверхность образца наносилось олово. С целью формирования покрытия с максимальной сплошностью и минимальной шероховатостью легирование проводили поэтапно, сначала при энергии разряда $W_p = 0,13$ Дж, затем при $W_p = 0,05$ Дж. При этом толщина слоя снизилась с 0,10 до 0,07 мм, а шероховатость (R_a) с 32,7 до 14,8 мкм. Сплошность слоя составила 100%.

На оловянное покрытие наносился баббит Б88 при $W_p = 0,27$ Дж.

Далее, с целью снижения шероховатости поверхности производилось ЭЭЛ покрытия графитовым электродом при $W_p = 0,39$ Дж, а затем при $W_p = 0,13$ Дж. Перед каждой обработкой графитом поверхность покрытия зачищалась щеткой.

Общая толщина покрытия после легирования баббитом и последующей обработки графитовым электродом составила 0,35 мм, а шероховатость (R_a) 8 мкм.

Для получения более толстого слоя, электроэрозионное легирование с помощью электрода-инструмента из оловянного баббита, с последующей обработкой графитовым электродом можно неоднократно повторять, начиная с обработки при энергиях импульса 0,27 Дж. После трёх таких процедур суммарная толщина покрытия составила 0,9 мм.

На рис. 7 показана структура антифрикционного покрытия после трех этапов нанесения баббита на образце из стали 20 с переходным подслоем из олова, а на рис. 8 представлено распределение микротвердости по глубине сформированного слоя.

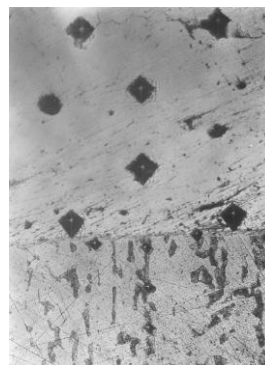


Рис. 7 - Структура антифрикционного баббитового покрытия с переходным подслоем олова на плоском образце из стали 20, X 200

Анализ структуры баббитового покрытия с подслоем из олова показал, что сформированный слой состоит из 3-х зон. Самый верхний слой толщиной до 900 мкм и микротвердостью $H_u = 24-36$ кгс/мм² состоит из баббита и олова, ниже располагается переходная зона глубиной до 10 мкм в которой, по мере углубления, микротвердость плавно увеличивается до микротвердости зоны термического влияния (200 - 220

кгс/мм²) и затем переходит в микротвердость основного металла $H_u = 175-180$ кгс/мм².

В табл. 2 представлены режимы поэтапного нанесения антифрикционных покрытий из оловянного баббита с подслоем из меди, оловянной бронзы и олова, а также толщина слоя и шероховатость поверхности на каждом этапе ЭЭЛ.

Таблица 2 – Качественные параметры и режимы ЭЭЛ при формировании покрытий из оловянного баббита с подслоем из меди, оловянной бронзы и олова

Но Этапа	Материал электрода	Импульс разряда, W_p , Дж	Производительность, см ² /мин	Шероховатость, R_a , мкм	Толщина нанесенного покрытия, мм
Сталь 20 + Cu + Б88					
1	Cu	0,27	2,0	10,4	0,08
2	Cu	0,05	1,0	6,2	0,05
3	Б88	0,05	1,0	6,5	0,08
4	Б88	0,27	2,0	23,0	0,42
5	Графит	0,39	3,0	16,4	0,38
6	Графит	0,13	1,3	8,6	0,35
7	Б88	0,27	2,0	24,3	0,74
8	Графит	0,39	3,0	16,7	0,71
9	Графит	0,13	1,3	9,1	0,70
10	Б88	0,27	2,0	23,6	1,04
11	Графит	0,39	3,0	16,2	1,02
12	Графит	0,13	1,3	8,7	1,00
Сталь 20 + БрОФ10-1 + Б88					
1	БрОФ10-1	0,13	1,3	30,2	0,10
2	БрОФ10-1	0,05	1,0	7,3	0,05
3	Б88	0,05	1,0	6,8	0,08
4	Б88	0,27	2,0	23,2	0,45
5	Графит	0,39	3,0	16,4	0,42
6	Графит	0,13	1,3	8,6	0,40
7	Б88	0,27	2,0	24,6	0,74
8	Графит	0,39	3,0	16,3	0,71
9	Графит	0,13	1,3	9,2	0,69
10	Б88	0,27	2,0	23,1	1,01
11	Графит	0,39	3,0	16,8	0,98
12	Графит	0,13	1,3	8,9	0,97
Сталь20 + Sn + Б88					
1	Sn	0,13	1,33	32,7	0,1
2	Sn	0,05	1,0	14,8	0,07
3	Б88	0,27	2,0	23,2	0,40
4	Графит	0,39	3,0	16,8	0,37
5	Графит	0,13	1,3	8,0	0,35
6	Б88	0,27	2,0	24,6	0,71
7	Графит	0,39	3,0	16,3	0,68
8	Графит	0,13	1,3	8,2	0,66
9	Б88	0,27	2,0	22,1	0,95
10	Графит	0,39	3,0	15,1	0,92
	Графит	0,13	1,3	8,0	0,90

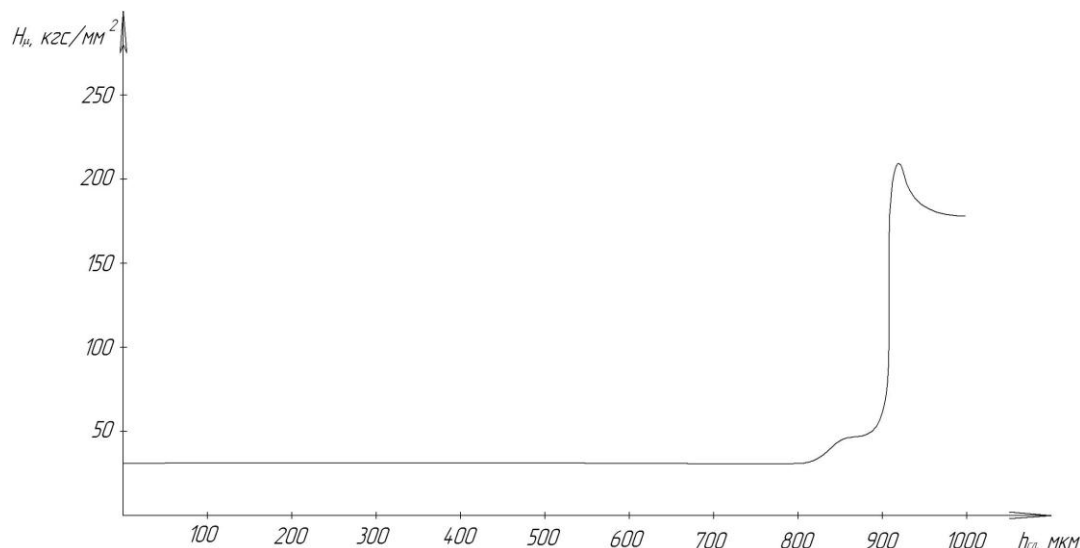


Рис. 8 - Распределение микротвердости по глубине покрытия из оловянного баббита с подслоем из олова на подложке из стали 20.

Следует отметить, что существенным недостатком баббитов является их малое сопротивление усталости, особенно при температуре более 100°C. С уменьшением толщины заливки подшипника сопротивление усталости увеличивается, при этом допускается минимальная толщина заливки баббита 0,25-0,4 мм.

Выводы. Таким образом, электроэрозионное покрытие воспринимает большую нагрузку в границах допустимого рабочего зазора подшипника скольжения вкладыш – вал, когда оно нанесено тонким слоем. Кроме того тонкое покрытие удешевляет способ изготовления вкладышей подшипника. Полученное комбинированное электроэрозионное покрытие имеет минимальную толщину 250 мкм, а максимальную толщину 1,0 мм. Дальнейшее увеличение толщины слоя возможно, но не целесообразно вследствие увеличения времени обработки и снижения механической прочности баббита. Вкладыши подшипников скольжения, обработанные предлагаемым способом, имеют высокую надежность и долговечность при работе ПС так как на всех этапах формирования антифрикционного покрытия, обеспечивается прочная металлическая связь, как между подложкой и промежуточным слоем из меди, оловянной бронзы или олова, так и с последующим слоем из оловянного баббита. Способ дает полную гарантию высокого качества полученных вкладышей. Кроме того, он проще по сравнению со способом, выбранным в качестве прототипа. Его можно применять как при изготовлении новых вкладышей подшипников скольжения, так и для их ремонта.

Тарельник Вячеслав Борисович – док. техн. наук, проф. СНАУ, Сумы, тел.: (050)-307-25-72, e-mail: tarelnik@i.ua;
Дзюба Александр Владимирович – аспирант, СНАУ, Сумы, тел.: (050)-585-62-46, e-mail: dziuba1989@gmail.com

Список литературы: 1. Галиахметов И.Г. Конструкционные материалы центробежных и винтовых компрессоров. Выбор и технология их применения / И.Г. Галиахметов. – Казань: Изд-во «ФЭН», 2009. – 155 с. 2. Лебедева А.П. Восстановление деталей машин / А.П. Лебедева, Т.Н. Погорелова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с. 3. Барыкин Н.П. Изготовление подшипников скольжения с применением штамповки антифрикционного слоя в условиях кристаллизации и последующей пластической деформации / Н.П. Барыкин, Р.Ф. Фазлыахметов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением, 2006. – №9. – С. 27-29. 4. Тарельник В.Б. Аналіз технологій нанесення антифрикційних покриттів підшипників ковзання / В.Б. Тарельник, О.В. Дзюба // Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, 2013. – Випуск 134. – С. 244-251. 5. Пат. 64613 Україна, МПК В23Н 1/00, 3/00, 5/00, F16C 33/04. Спосіб обробки вкладишів підшипників ковзання / Марцінковський В.С., Тарельник В.Б.; заяв. 17.07.2003; опубл. 16.02.2004, Бюл. №2.

Bibliography (transliterated): 1. Galiahetov I.G. *Konstrukcionnye materialy centrobezhnyh mashin i vintovyh kompressorov. Vybora i tekhnologija ih primenenija*. Kazan': FEN, 2009. 155 p. Print. 2. Lebedeva A.P., Pogorelova T.N. *Vosstanovlenije detalej mashin*. Moscow: Mashinostroyeniye. 2003. 672 p. Print. 3. Barikin N.P., Fazyahmetov R.F. *Izgotovlenie podshipnikov skol'zheniya s primeneniem shtampovki antifrikcionnogo sloja v usloviyah kristallizacii i posledujuschej plasticheskoj deformacii*. Kuznechno-shtampovoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem. Moscow, 2006. No9. – pp. 27-29. Print. 4. Tarelnik V.B., Dzjuba O.V. *Analiz tehnologij nanesennja antifrikcijnih pokryttiv pidshipnikov kovzannja*. Kharkov: Visnik kharkivskogo nacional'nogo tehnicnogo universitetu sil'skogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka. 2013. – No134. – С. 244-251. Print. 5. Marcinkovskij V.S., Tarelnik V.B. *Patent. 64613 Ukraine, MPK V23N 1/00, 3/00, 5/00, F16C 33/04. Sposib obrobki vkladishej pidshipnikov kovzannja*. Reguest 17.07.2003; proclaim 16.02.2004 Buletin 2, 2004. Print.

Поступила (received) 17.02.2015